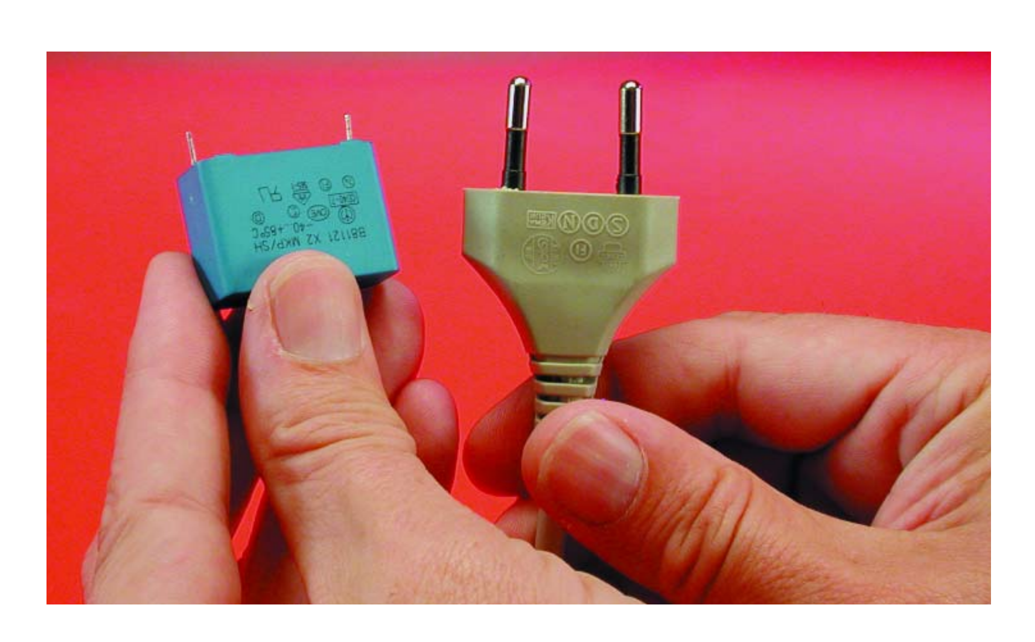
Un condensateur en résistance au courant alternatif

Alimentation sans transformateur

On se passe, sur certains projets, que ce soit pour des raisons de place ou pour toute autre raison, de transformateur d'alimentation auquel on substitue une « résistance de limitation CA » qui prend la forme d'un condensateur. Il nous arrive de recevoir, de temps à autre, une lettre d'un lecteur nous demandant comment cela fonctionne et comment en calculer la valeur.



Il arrive, lorsque l'on a besoin, pour l'alimentation d'un circuit (ou sous-ensemble) électronique, de quelques milliampères seulement fournis par le secteur, que l'on opte pour une solution connue, celle du « sans tranfo », approche faisant appel à un condensateur qui remplit une fonction de « résistance de limitation de courant alternatif ». Il faut reconnaître que cette méthode n'est utilisée que très occasionnellement vu que le gain d'espace se fait au détriment de la sécurité d'entrée en contact. En effet, l'alimentation se trouve en liaison directe avec le secteur de sorte qu'il est pour le moins délicat de parler de solution élégante.

Quoi qu'il en soit, nous savons tous que chaque médaille a son revers et que tout avantage est bardé de son inconvénient, ce qui ne nous empêche pas de constater que cette « résistance de limitation CA » peut constituer, dans certains cas, une option de solution très pratique.

L'un des derniers montages publiés dans Elektor dans lequel nous ayons utilisé une alimentation sans transfo de ce genre a été la temporisation de mise en fonction du Crescendo. La **figure 1** reproduit le schéma du dit montage.

Il n'est pas nécessaire de connaître et comprendre le fonctionnement de cette électronique, l'important est de constater que le relais 24 V Re1 est alimenté par le secteur et ce en l'absence de transformateur. L'embase K1 est en effet reliée à la tension du secteur.

Dans le présent circuit, c'est le condensateur C1 qui fait office de résistance de limitation CA. Les résistances R1 à R3 peuvent porter à confusion, mais, en ce qui concerne ce mode de fonctionnement, leur importance est secondaire. R1 et R2 permettent à C1 de se décharger lors

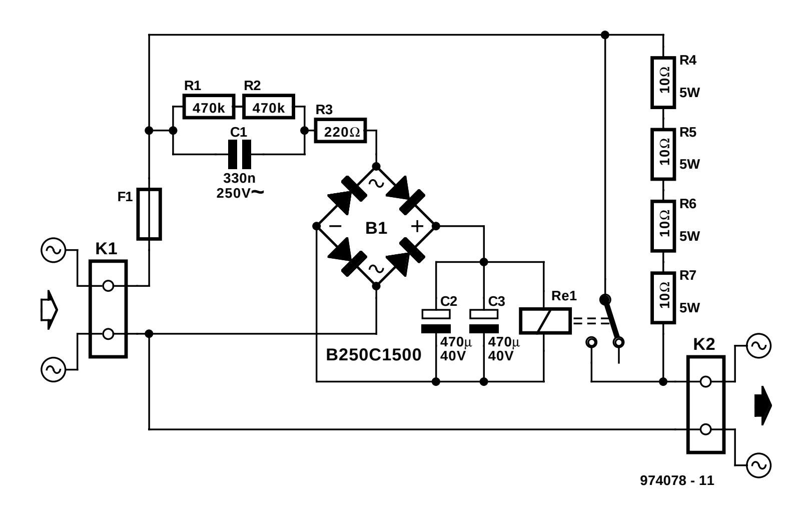


Figure 1. Dans ce circuit, le relais Re1 est alimenté directement par le secteur au travers de la « résistance de limitation CA » C1.

de la coupure de la tension d'alimentation, R3 servant à limiter le courant lors de la mise sous tension. L'abaissement de tension requise, à savoir de 230 à 24 V, est uniquement l'affaire de C1 et de lui seul.

Comment cela fonctionne-t-il ?

Il nous faut faire un rien de théorie de base. Le petit schéma de la **figure 2** sert à illustrer le principe de fonctionnement d'une telle résistance de limitation AC. Notre électronique se compose d'une pile, de 2 boutons-poussoirs, d'un condensateur et d'un instrument à bobine mobile.
Lors d'une action sur le bouton-poussoir S1 le condensateur se charge et on a circulation brève d'un courant à travers l'instrument M. Son aiguille accuse un débattement momentané avant de revenir à zéro. Si l'on relâche S1 et que l'on appuie ensuite sur le bouton S2, le condensateur se décharge ce qui se traduit par un débattement momentané, et ce dans l'autre sens, de l'aiguille de l'instrument M.
Poursuivons notre démonstration et remplaçons la pile par une source de tension alternative. Comme on se trouve en présence d'une tension qui ne cesse de changer de polarité, le condensateur se verra, en cas d'action sur S1, passer successivement en charge, en décharge, en charge à polarité inverse, en décharge et ainsi de suite. L'instrument à bobine mobile M ne cessera de visualiser un courant, et ce bien que le dit courant ne cesse de changer de sens de circulation au rythme de la fréquence de la tension alternative. Si nous remplaçons l'instrument à Bobine mobile par un ampèremètre alternatif (un multimètre placé en calibre courant alternatif), l'instrument affichera un débattement constant. Cela permet de déduire que le condensateur C se comporte en fait comme une résistance. Cette résistance apparente au courant alternatif est appelée impédance du condensateur. La dite impédance varie en fonction de la fréquence et se laisse déterminer à l'aide de la formule suivante :
$X_C = 1 / (2\pi fC)$.
Dans cette formule, C représente la capacité du condensateur exprimée en farads (F), f étant la fréquence; elle est exprimée en hertz (Hz).

Exemple

Comment pouvons-nous, dans la pratique, calculer la valeur d'une telle résistance de limitation AC ? Revenons pour cela au schéma de la figure 1. Le point de départ de nos calculs est qu'il nous faut un relais 24 V et que partant, la chute de tension aux bornes du condensateur C1 doit être de l'ordre de 200 V.
Il nous faut en outre connaître le courant qui traverse la bobine du relais; pour le type de relais concerné ce courant est de 20 mA.
Il est possible, en faisant appel à la loi d'Ohm, de calculer l'impédance que doit présenter le condensateur en se basant sur la valeur de la résistance équivalente aux bornes de laquelle on a, avec un courant de

Condensateurs X et Y

Il s'agit, dans le cas de ces condensateurs, de condensateurs de déparasitage (secteur) spéciaux des classes X et Y selon les normes IEC et qui se distinguent par une meilleure résistance aux impulsions et leur robustesse. IEC ne limite pas la capacité maximale des condensateurs X, mais leur implantation n'est permise qu'aux endroits où leur endommagement (court-circuit) ne risque pas de conduire à une situation dangereuse (choc électrique).
Les condensateurs d'antiparasitage de la classe Y peuvent eux en revanche être implantés à des endroits où leur défectuosité pourrait entraîner des risques de choc électrique. Ceci explique que ce type de condensateur soit lui limité à une valeur de capacité faible. Les condensateurs Y ont une tension de service de 250 V_{eff} et peuvent se targuer d'une meilleure sécurité électrique et mécanique.
Les condensateurs X et Y sont subdivisés en 3 catégories (X1 à X3 et Y1 à Y3), la catégorie 1 respectant les exigences les plus sévères, le cahier des charges de la catégorie 3 étant, en ce qui concerne la résistance impulsionnelle et la durée de vie, le moins exigeant. Les condensateurs X1 sont prévus pour un fonctionnement continu sans surveillance, les condensateurs X3 étant eux utilisables sur des appareils qui ne sont reliés au secteur qu'en cours de fonctionnement tels que petits appareils ménagers et petits outils électriques. La résistance impulsionnelle des condensateurs X1 est de 4 kV (4 000 V), celle des condensateurs Y1 de 8 kV.

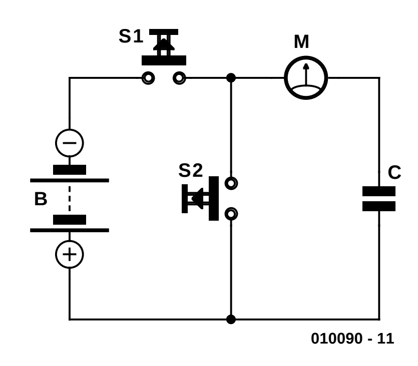


Figure 2. Une électronique simple permet de mettre le principe de fonctionnement à l'épreuve de la réalité.

20 mA, une chute de 200 V.
Elle devra être de l'ordre de 200 V/200 mA = 10 000 Ω, soit 10 kΩ.
Une fois cette valeur déterminée, nous pouvons, à l'aide de la formule donnée plus haut,
$X_C = 1 / (2\pi fC)$
calculer la valeur du condensateur. Nous entrons 50 Hz comme valeur de la fréquence du secteur ce qui nous donne
$C = 1 / X_C \, 2\pi f$
Si l'on remplace les termes connus cela nous donne :

$C = 1 / 10\,000\ \Omega * 2 * 3{,}14 * 50\ \text{Hz}$
soit
$C = 3{,}18 * 10^{-7}\ \text{F}$
Soit 0,318 µF.

Un coup d'oeil à la figure 1 montre que nous avons opté pour une valeur de 330 nF, valeur normée la plus proche de la valeur théorique calculée.
La plage de tolérance de ce type de condensateurs est de ±20 % de sorte que la légère différence de la valeur utilisée par rapport à la valeur calculée n'a rien d'inquiétant. Ceux d'entre nos lecteurs que pourrait choquer notre manière de calculer, à savoir identifier la chute de tension aux bornes de la résistance capacitive X_C à celle prenant place aux bornes d'une résistance ohmique, ont, en principe raison. Dans la pratique, cette simplification amène très exactement au même résultat, c'est-à-dire à la même valeur pour le condensateur de limitation de courant et à la tension correcte aux bornes du relais. Si vous avez des doutes à ce sujet, rien ne vous interdit de recalculer les valeurs.
Il faut bien entendu en outre que le condensateur utilisé soit en mesure de supporter des tensions *alternatives* de 250 V, sachant de plus qu'il doit être du type X2 vu qu'il est utilisé dans une application travaillant avec la tension du secteur.

Limitations ?

Nous le disions tout en début d'article, le domaine privilégié de l'utilisation d'une résistance de limitation CA est celui où le courant ne dépasse pas quelques milliampères. cela signifie-t-il que, pour une raison ou une autre, ce dispositif ne peut pas être utilisé à des intensités de courant plus élevées ?
En principe non. Le condensateur de limitation travaille tout aussi bien à des courants importants qu'à des courants plus faibles. Tout ce qui change en fait est la taille de plus en plus importante du condensateur de sorte qu'à moment ou à un autre il devient plus raisonnable d'opter pour un transformateur. Ce point de changement d'approche se trouve, en pratique, lorsque le courant atteint de l'ordre de 100 mA. Un condensateur X2 de 1,5 µF/250 V~ a pratiquement les mêmes dimensions qu'un transformateur secteur de 2 x 9 V/100 mA. Dans le cas de courants plus importants encore, un condensateur électrochimique film ou bipolaire haute tension risque même d'avoir un encombrement supérieur à celui d'un transformateur correspondant. Il sera préférable, ne serait-ce que pour des raisons de sécurité électrique, d'opter pour un transformateur.

(010090)

Théorie et pratique

Lors de notre exemple de calcul pratique de la valeur du condensateur nous avons supposé que la tension aux bornes du condensateur de limitation était égale à la tension du secteur diminuée de la tension de relais et valait partant 220 V (224 –– 24 = 200 V). Théoriquement cela est incorrect vu que la résistance capacitive X_C est une résistance apparente. De ce fait la résistance U_C aux bornes du condensateur est déphasée de 90 ° par rapport à la tension U_R aux bornes de la résistance, elle traîne de 90 ° par rapport à la tension sur la résistance.
Sur le diagramme, les 2 tensions partielles U_R et U_C se forment un triangle rectangle (à angle droit). La tension totale (l'hypoténuse du triangle) ne s'obtient pas par addition des 2 tensions partielles mais requiert d'utiliser le vieux théorème de Pythagore pour son calcul :

$$U^2 = U_R^2 + U_C^2$$

On en dérive la tension aux bornes du condensateur

$$U_C = \sqrt{U^2 - U_R^2}$$

Nous donnons à U la valeur de la tension secteur de 230 V et pour U_R à nouveau 24 V, ce qui nous donne pour U_C :

$$U_C = \sqrt{230^2 - 24^2}$$

Et, si l'on prend la peine d'utiliser sa calculette on découvre, aux bornes du condensateur, la valeur étonnante de 228,7 V !
Si nous recalculons à partir de là la valeur du condensateur nous arrivons bien évidemment à un résultat légèrement différent de celui fourni par la méthode « pratique » :

$$X_C = U_C / I = 228{,}7\ V / 20\ mA = 11\,435\ \Omega$$

$$C = 1 / X_C \, 2\pi f$$

Si nous entrons les valeurs :

$$C = 1 / 11\,345\ \Omega * 2 * 3{,}14 * 50\ \text{Hz}$$

Ce qui nous donne :

$$C = 2{,}81 * 10^{-7}\ \text{F} = 281\ \text{nF}$$

Dans la pratique, cela ne change en fait rien à la valeur du condensateur du circuit. La valeur normée la plus proche reste en effet, dans la série E6, toujours 330 nF et la tolérance par rapport à la valeur calculée est toujours inférieure à la tolérance du condensateur (±20%).
En conclusion : si l'on veut, à l'aide d'un condensateur de limitation, produire, à partir de la tension du secteur une tension d'alimentation faible et ce sans faire appel à un transformateur, la méthode de calcul simple proposée suffit largement.